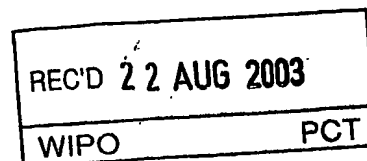


11 JAN 2005

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 31 407.1

**Anmeldetag:** 11. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, München/DE

**Bezeichnung:** Bipolartransistor

**IPC:** H 01 L 29/732

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 5. Juni 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Weihmayr



## Beschreibung

## Bipolartransistor

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Bipolartransistor, der insbesondere in Form eines so genannten selbstjustierten Bipolartransistors ausgebildet sein kann.

Bei Bipolartransistoren ist der so genannte Basisbahn-  
10 widerstand (nachfolgend kurz als 'Basiswiderstand' bezeichnet) neben der Transitfrequenz und der Basis-Kollektor-Kapazität eine der entscheidenden Transistorparameter, welche wichtige Kenngrößen wie die maximale Oszillationsfrequenz, die Verstärkung ('Gain'), die minimale  
15 Rauschzahl, Gatterverzögerungszeiten, etc. des Bipolartransistors bestimmen. Dabei entspricht der Basiswiderstand dem Widerstand zwischen der Basis bzw. dem eigentlichen Basisbereich und einem externen Kontakt, der über eine Verbindungsleitung mit der Basis verbunden ist.

20 Hinsichtlich der zuvor erwähnten Transistorparameter gilt beispielsweise für die maximale Oszillationsfrequenz  $f_{\max}$  des Bipolartransistors:

25 
$$f_{\max} \approx \sqrt{\frac{f_T}{8\pi \cdot R_B \cdot C_{BC}}} \quad \dots (1)$$

wobei  $f_T$  die Transitfrequenz,  $R_B$  den Basiswiderstand und  $C_{BC}$  die Basis-Kollektor-Kapazität des Bipolartransistors darstellen.

30 Für die minimale Rauschzahl  $F_{\min}$  eines Bipolartransistors gilt in Abhängigkeit von dem Basiswiderstand  $R_B$  und der Frequenz  $f$ :

35 
$$F_{\min} \approx 1 + \frac{1}{\beta} + \frac{f}{f_T} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot I_C}{V_T} \cdot R_B \cdot \left(1 + \frac{f_T^2}{\beta \cdot f^2}\right) + \frac{f_T^2}{\beta \cdot f^2}} \quad \dots (2)$$

mit  $\beta$  als Kleinsignal-Stromverstärkung,  $I_c$  als Kollektorstrom und  $V_T$  als thermischer Spannung des Bipolartransistors.

- 5 Aus den beiden Formeln (1) und (2) ist ersichtlich, dass der Basiswiderstand  $R_b$  für schnelle Schaltvorgänge und niedrige Rauschzahlen klein sein sollte. Ein Verfahren zum Reduzieren von Verlusten bei Bipolartransistoren ist die Verwendung einer Polysilizium-Elektrode zum Kontaktieren der Basis. Eine  
10  $p^+$ -Polysiliziumschicht sieht für den Basisstrom einen niederohmigen Pfad mit entsprechend geringer Kapazität vor.

- Besonders kleine Basiswiderstände können beispielsweise durch Anwendung des Konzepts des sogenannten 'selbstjustierten  
15 Doppelpolysilizium-Bipolartransistors' erzielt werden, wie es in „Self-Aligned Bipolar Transistors for High-Performance and Low-Power-Delay VLSI“, T.H. Ning et al., IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-28, No. 9, Seiten 1010-1013, 1981, beschrieben ist. Dieses Konzept findet daher in nahezu allen  
20 gängigen Produktionstechnologien für Höchstfrequenz-Bipolartransistoren Verwendung.

- In der beiliegenden Figur ist ein derartiger selbstjustierter npn-Doppelpolysilizium-Bipolartransistor in Querschnittsansicht dargestellt. Der Emitter 3 wird über eine  $n^+$ -dotierte Polysilizium-Elektrode 1 kontaktiert. Der  $p^+$ -dotierten Basis 4 ist eine  $p^+$ -Polysilizium-Elektrode 2 zugeordnet. Die selbstjustierte Emitter-Basis-Isolation 7 wird als 'Spacer' bezeichnet. Ferner sind unter der Emitterelektrode 3 eine  
30 TEOS ('Tetraethoxysilan/Tetraethylorthosilikat') - Isolationsschicht 6 und unter der Basiselektrode 2 eine LOCOS ('Local Oxidation of Silicon') - Isolationsschicht 8 vorgesehen. In der Figur ist ebenfalls gestrichelt der Kollektorbereich 5 des Bipolartransistors (ohne zugehörige  
35 Kollektorelektrode) angedeutet. Ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Bipolartransistors ist zum Beispiel in der EP-B1-0 535 350 beschrieben.

Bei einem selbstjustierten Doppelpolysilizium-Bipolartransistor, wie er in der Figur dargestellt ist, setzt sich der Basiswiderstand  $R_B$  im wesentlichen aus drei Anteilen zusammen, die im Folgenden als 'innerer' Widerstandsanteil  $R_{Bi}$ , als 'externer' Widerstandsanteil  $R_{Be}$  und als 'Link'-Widerstandsanteil  $R_{Bl}$  bezeichnet werden. Der innere Widerstandsanteil  $R_{Bi}$  entsteht durch den Widerstand im Basisgebiet 4 am aktiven Transistorbereich. Der externe Widerstandsanteil  $R_{Be}$  beschreibt den Widerstand der Polysilizium-Basiselektrode 2, welche zu dem externen Basiskontakt führt. Der Link-Widerstandsanteil  $R_{Bl}$  stellt den Basiswiderstand dar, der durch die niedrig dotierte Zone unter der selbstjustierten Emitter-Basis-Isolation, den Spacern 7, entsteht.

Bei heutigen Bipolartransistoren wird der gesamte Basiswiderstand  $R_B$  in der Regel durch die Summe aus dem inneren Widerstandsanteil  $R_{Bi}$  und dem Link-Widerstandsanteil  $R_{Bl}$  dominiert. Aufgrund fortschreitender lateraler Skalierung der Bauteile werden auch der innere Widerstandsanteil  $R_{Bi}$  und der Link-Widerstandsanteil  $R_{Bl}$  kontinuierlich reduziert. Gleichzeitig wird der externe Widerstandsanteil  $R_{Be}$  immer größer, da die mit der lateralen Skalierung verknüpfte vertikale Bauteilskalierung immer dünnere Polysiliziumschichten als Anschlusselektroden erfordert und der Schichtwiderstand dieser Anschlussgebiete damit immer größer wird. Somit gewinnt der externe Widerstandsanteil  $R_{Be}$  für den gesamten Basiswiderstand  $R_B$  immer mehr an Bedeutung.

Um den Schichtwiderstand der Basiselektrode 2 möglichst gering zu halten, werden im allgemeinen mit Bor dotierte Polysiliziumschichten verwendet, wobei die Bor-Dotierung über der elektrisch aktivierbaren Konzentration von typischerweise größer als  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  gewählt wird, um den kleinstmöglichen Schichtwiderstand zu erzielen. Man wählt das Bor-Dotieratom aufgrund der Überlegung, dass Bor wenig oder gar keine Auswirkungen auf das Kornwachstum hat und nicht dazu neigt,

sich während thermischer Bearbeitungsvorgänge an Korngrenzen abzusondern. Das Modell der Dotierstoffabsonderung nimmt an, dass die Leitfähigkeit durch Absonderung von Dotieratomen zu den Korngrenzen gesteuert wird, wo die Atome selbst gefangen werden und elektrisch inaktiv werden. Außerdem unterdrückt eine hohe Dotierstoffkonzentration an den Korngrenzen das Kornwachstum während des Aushärtens („Annealing“). Rückverteilung implantierter Dotierstoffe und größere Korngrößen während anschließender Aushärtungsschritte verändern die elektrischen und strukturellen Eigenschaften der Schichten, was den externen Widerstandsanteil  $R_{Be}$  des Basiswiderstands  $R_B$  deutlich beeinflusst. Das Hauptproblem stellt das Aushärtungsverhalten von Si-Proben mit Dotieratomen dar. Tatsächlich ist nur ein kleiner Anteil von etwa 10% der Dotieratome ionisiert. Es wird angenommen, dass inaktive, nicht-ausgeschiedene Dotieratome in Clusterform vorliegen; die Clusterbildung der Dotieratome findet bei der Aushärtungstemperatur oder alternativ hauptsächlich während des Abkühlens der Probe statt. Bei typischen Dotierungswerten von Bor größer als  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  und einer Schichtdicke von 150-250 nm können minimale Schichtwiderstände von etwa 50-100  $\Omega/\square$  erzielt werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Bipolartransistor bereitzustellen, bei dem der Schichtwiderstand der Anschlusselektroden, insbesondere der Basis-elektrode, weiter reduziert ist.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch einen Bipolartransistor mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. In den Unteransprüchen sind bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung angegeben.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, bei Bipolartransistoren anstelle herkömmlicher Polysiliziumelektroden Polysiliziumschichten zu verwenden, in welche Fremdatome eingebracht

sind, welche eine hohe Dichte an Gitterleerstellen im Elektrodenmaterial bewirken.

- Als Fremdatome werden vorzugsweise C-, P- oder Ar-Atome, besonders bevorzugt C-Atome verwendet. Die Dichte der Fremdatome in der Polysiliziumschicht liegt dabei vorzugsweise etwa im Bereich von  $10^{19}$ - $10^{21}$  cm<sup>-3</sup>.

- Kohlenstoff mit einer hohen Löslichkeit in Silizium kann in dem Siliziumgitter sowohl an Zwischengitterplätzen als auch an den energetisch günstigeren Gitterplätzen im Austausch für ein Si-Atom eingebaut werden. Die C-Atome auf den Gitterplätzen fangen auf Zwischengitterplätzen vorhandene Si-Atome ein und bilden somit gebundene Zwischengitterkomplexe. Aufgrund dieses Einfangmechanismus der C-Atome werden zusätzliche Gitterleerstellen erzeugt. Daher sieht der Kohlenstoff in der Polysiliziumschicht während des Aushärtens Senken für Zwischengitterplätze vor, wodurch eine Zwischengitterplatz-getriebene Clusterbildung von beispielsweise Bor-Dotieratomen unterdrückt und damit die Menge und somit die Konzentration aktiver Dotieratome erhöht werden kann. Dies führt zu einem niedrigeren Schichtwiderstand der beispielsweise mit Bor dotierten Polysiliziumschicht und somit zu einem kleineren Basiswiderstand. Dieser Effekt kann durch die Verwendung von Polysiliziumschichten aus polykristallinem Silizium-Germanium noch erhöht werden.

- Da Kohlenstoff in der Halbleitertechnik allgemein verwendet wird und sowohl direkt während des Schichtwachstums als auch durch Ionenimplantation in die Polysiliziumschicht der Elektroden eingebracht werden kann, kann das oben beschriebene Konzept der Erfindung einfach und kostengünstig in Herstellungsverfahren von herkömmlichen Bipolartransistoren implementiert werden.

35

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass C-Atome ohne wesentliche Störung des Si-Gitteraufbaus eingebaut werden können,

da selbst SiC nur ein um etwa 3% größeres Volumen als reines Si besitzt.

Obwohl sich die vorliegende Erfindung insbesondere auf Bipolartransistoren bezieht, ist grundsätzlich auch der Einsatz bei anderen Transistorarten wie beispielsweise FET-, MOS- oder CMOS-Transistoren denkbar.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die einzige Figur eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Hinsichtlich des in der Figur dargestellten Ausführungsbeispiels kann zur Vermeidung von Wiederholungen weitgehend auf die obigen Ausführungen zum Stand der Technik verwiesen werden. In der Figur ist - wie bereits zuvor erwähnt - ein selbstjustierter npn-Bipolartransistor in Querschnittsdarstellung gezeigt.

Der Emitter 3 des Bipolartransistors ist über eine n<sup>+</sup>-dotierte Polysilium-Elektrode 1 kontaktiert, und der p<sup>+</sup>-dotierten Basis 4 ist eine p<sup>+</sup>-dotierte Polysilizium-Elektrode 2 zugeordnet. Spacer 7 sind als selbstjustierte Emitter-Basis-Isolation vorgesehen. Darüber hinaus ist unter der Emitterelektrode 1 eine TEOS-Isolationsschicht 6 und unter der Basiselektrode 2 eine LOCOS-Isolationsschicht 8 vorgesehen. In der Figur ist ebenfalls der Kollektorbereich 5 des Bipolartransistors (gestrichelt) angedeutet.

Als Basiselektrode 2 wird eine Polysiliziumschicht verwendet, in die C-Fremdatome mit einer Konzentration von  $10^{19}$ - $10^{21}$  cm<sup>-3</sup> eingebracht worden sind. Dies kann entweder mittels Ionenimplantation oder alternativ ohne zusätzlichen Implantationsschritt direkt während des Schichtwachstums erfolgen. Zusätzlich wird die Polysiliziumschicht, wie bereits bekannt, mit Bor-Atomen in einer Konzentration von größer als  $5 \times 10^{20}$  cm<sup>-3</sup> dotiert.

- Die C-Fremdatome lagern sich an Zwischengitterplätzen und bevorzugt an den energetisch günstigeren Gitterplätzen in das Si-Gitter ein. Die C-Fremdatome auf den Gitterplätzen fangen
- 5 Si-Atome von Zwischengitterplätzen ein und bilden gebundene Zwischengitterkomplexe. Aufgrund dieser eingefangenen Si-Atome werden zusätzliche Gitterleerstellen mit einer geschätzten Dichte von etwa  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  erzeugt. Die so gebildeten Si-C-Agglomerate sind bis etwa  $700^\circ\text{C}$  stabil, bei höheren
- 10 Temperaturen wandeln sie sich in  $\beta$ -SiC um, wobei das im Vergleich zu der Si-Matrix um etwa 3% etwas größere Volumen von SiC ebenfalls durch Gitterstellen leicht kompensiert werden kann, so dass keine unerwünschten Spannungen in den Elektroden entstehen. Der Kohlenstoff erzeugt auf diese Weise
- 15 während des Aushärtens in der Polysiliziumschicht Senken für Zwischengitterplätze, wodurch eine Zwischengitterplatz-getriebene Clusterbildung der Bor-Dotieratomen unterdrückt und damit die Menge aktiver Dotieratome erhöht werden kann.
- 20 Die so erzeugte höhere Konzentration aktiver Dotieratome führt zu einem niedrigeren Schichtwiderstand der mit Bor dotierten Polysiliziumschicht und somit zu einem kleineren Basiswiderstand. Dieser Effekt kann durch die Verwendung von Polysiliziumschichten aus polykristallinem Silizium-Germanium noch erhöht werden.

Selbstverständlich können alternativ oder zusätzlich zu der Basiselektrode 2 auch die Emittierelektrode 1 und die Kollektorelektrode in der erfindungsgemäßen Weise ausgebildet

30 werden.

## Patentansprüche

1. Bipolartransistor, mit  
einem über eine Emittierelektrode (1) elektrisch kontaktier-  
baren Emitterbereich (3);  
einem über eine Basiselektrode (2) elektrisch kontaktierbaren  
Basisbereich (4); und  
einem über eine Kollektorelektrode elektrisch kontaktierbaren  
Kollektorbereich (5),  
dadurch gekennzeichnet,  
dass wenigstens eine Elektrode der Emitter-, Basis- und  
Kollektorelektroden (1, 2) eine Polysiliziumschicht ist, in  
der Fremdatome eingebracht sind, die eine hohe Dichte an  
Gitterleerstellen in der Elektrode bewirken.
2. Bipolartransistor nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Fremdatome C-, P- oder Ar-Atome sind.
3. Bipolartransistor nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Dichte der Fremdatome in der Polysiliziumschicht  
etwa im Bereich von  $10^{19}$ - $10^{21}$  cm<sup>-3</sup> liegt.
4. Bipolartransistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Polysiliziumschicht mit Bor-Atomen dotiert ist.
5. Bipolartransistor nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Konzentration der Bor-Atome größer als  $5 \times 10^{20}$  cm<sup>-3</sup>  
gewählt ist.
6. Bipolartransistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die wenigstens eine Elektrode (1, 2) aus poly-  
kristallinem Silizium-Germanium besteht.

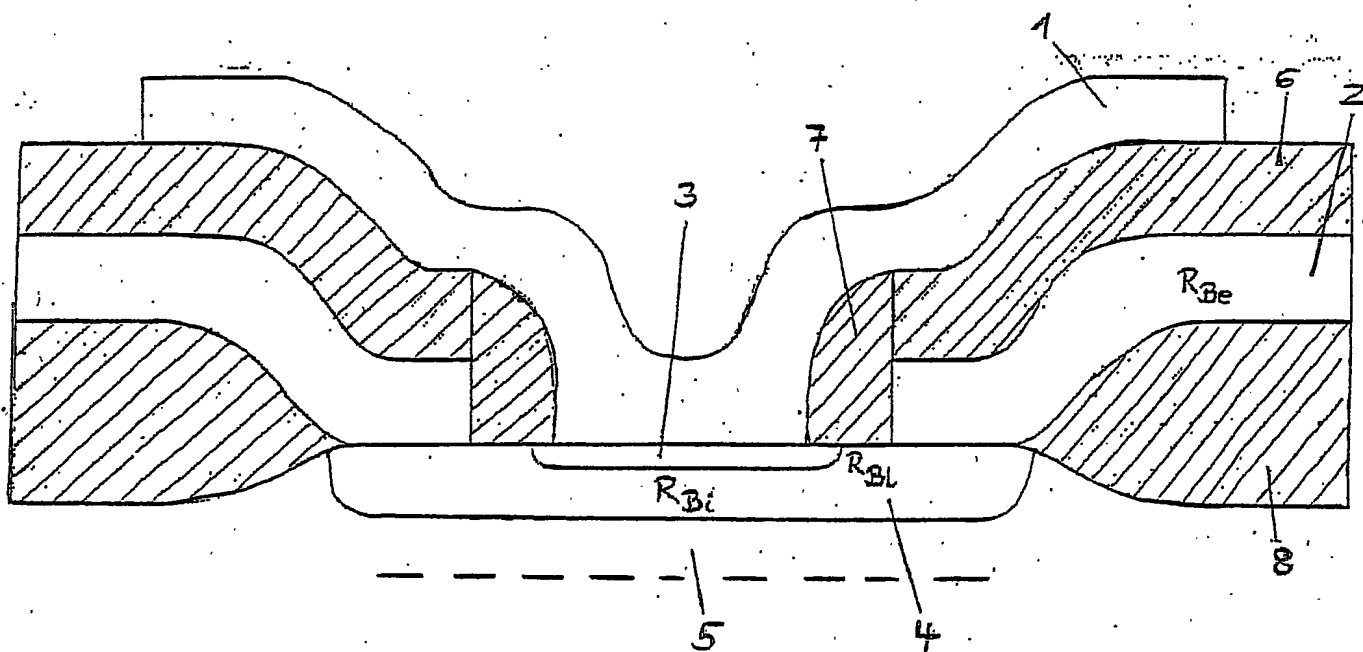
7. Bipolartransistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die wenigstens eine Elektrode die Basiselektrode (2)  
5 ist.

8. Bipolartransistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Bipolartransistor ein selbstjustierter Bipolar-  
10 transistor ist.

## Zusammenfassung

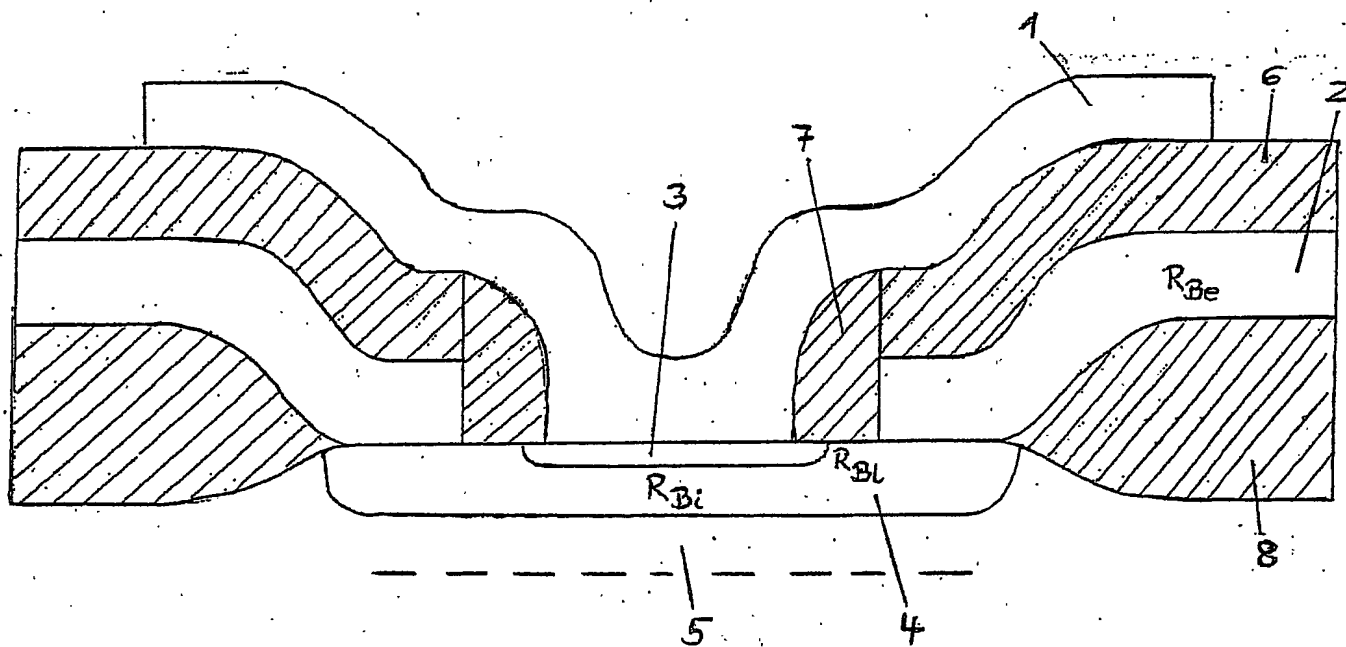
## Bipolartransistor

- 5 Zur Reduzierung des Basiswiderstandes und damit zur Erzielung einer niederohmigen Basiselektrode eines Bipolartransistors wird als Basiselektrode (2) eine Polysiliziumschicht verwendet, in der Fremdatome, insbesondere C-Atome, eingebracht sind, die eine hohe Dichte an Gitterleerstellen in der
- 10 Polysiliziumschicht bewirken.



1000000

1/1



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**